

FÉMION LÉZEREK ÜREGES KATÓDÚ KISÜLÉSEKBEN

PhD értekezés tézisei

Bánó Gergely

Témavezető: Dr. Rózsa Károly
(MTA SZilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet)

Szegedi Tudományegyetem
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Szeged

2002

semmi

1. Tudományos előzmények

Az első **fémion lézerek** megjelenését 1965-re tehetjük. Ekkor sikerült a Utahi Egyetemen pozitív oszlopú hélium és neon kisülésekbe cinket és kadmiumot párologtatva lézerműködést elérni az adott fémek ionjainak két-két átmenetén (az infravörös és látható tartományban). Ezeket az impulzus üzemmódú első kísérleteket követték az ultraibolya tartományba eső kadmium lézerek. Kiderült, hogy a fémion lézereket a Penning ionizációs és a töltéskicserélő ütközések gerjesztik, amelyek során a fématomok nemesgáz metastabil atomokkal illetve ionokkal ütközve egy lépésben ionizálódnak és gerjesztődnek.

A hetvenes években a fémion lézerek kutatása nagy lépésekkel haladt előre. A pozitív oszlopban már korábban elért stabil és hosszú élettartamú lézerműködés után megjelentek az első **üreges katódú lézerek**. A kisülések behatóbb vizsgálata kimutatta, hogy az üreges katódban (a nagyszámú gyors elektronnak köszönhetően) jelentős nemesgáz ion koncentrációt lehet fenntartani aránylag magas fémgőz koncentráció mellett. Ez nagy előnyt jelentett a töltéskicserélő ütközéssel gerjesztett lézerátmenetek esetében. További lendületet adott a kutatásoknak, amikor 1974-ben Budapesten, a KFKI-ban sikerült megvalósítani az első porlasztott üreges katódú réz lézert. Itt a szükséges fémgőz tisztán a katód falát bombázó ionok porlasztó hatására jutott az aktív térfogatba. Az ezt követő években további lézerátmeneteket fedeztek fel különböző fémekben és fokozatosan sikerült mélyebb betekintést szerezni a kisülések működésébe is.

A nagyobb teljesítmény, hosszabb élettartam és stabilitás elérésén kívül fontos kihívásnak számított az egyre rövidebb hullámhosszakon működő fémion lézerek kifejlesztése. Az erre irányuló igyekezet eredményeként születtek a hagyományostól eltérő, **nagyfeszültségű** üreges katódú elektróda-elrendezések. Az ide tartozó belsőanódos kisüléseken végzett

kísérletek újra a KFKI-hoz kapcsolódnak. A hatékonyabb gerjesztés szempontjából jelentős javulást hozott a kilencvenes évek elején a **szegmentált üreges katódú kisülés** alkalmazása, amely segítségével alacsonyabb küszöbáramot és nagyobb erősítést értek el több ultraibolya átmenet esetében is.

A porlasztott üreges katódú fémion lézerek jó tulajdonságai mellett legnagyobb hátrányuknak rövid élettartamuk számít. A több évtizedes kutatások ellenére csak az elmúlt egy-két évben sikerült kereskedelmileg is forgalmazott lézereket készíteni. Ez a siker a legújabb csúcs-technológia alkalmazásának, a minden eddiginél nagyobb tisztaság megkövetelésének köszönhető a gyártási folyamatnál. Az eladott lézereket ma főleg az ultraibolya Raman spektroszkópia céljaira használják. A porlasztott lézerek lehetőségeit tovább korlátozza az a tény, hogy a kisülés áramát nem lehet a fémgőz koncentrációjától függetlenül optimalizálni. Elméletileg ezt a hátrányt egy olyan nagyfeszültségű lézerkonstrukcióval lehet kiküszöbölni (megtartva annak előnyeit), amelybe a fémgőzt párologtatással juttatjuk.

2. Célkitűzések

Munkám során az SZFKI Lézerfizikai Osztályán hosszú ideje folyó üreges katódú lézerfejlesztésbe kapcsolódtam be. Dolgozatomban porlasztott, szegmentált üreges katódú arany ion lézerrel és egy újszerű, fűtött, belsőanódos cink ion lézerrel foglalkozom.

Az arany ion lézert főleg az ultraibolya tartományba eső, 282 nm-es átmenete teszi érdekessé. A szegmentált üreges katódú kisülés irodalmának ismeretében elmondható, hogy mai napig sok a tisztázatlan kérdés a kisülés működését illetően és a kisülésben gerjesztett lézerek spektrális és nyalábtulajdonságai sem ismertek.

Mivel a belsőanódos, nagyfeszültségű kisülést eddig kizárólag porlasztott lézerek gerjesztésére alkalmazták, a fűtött cink ion lézer továbblépést jelent a lézerfejlesztés terén. Amennyiben sikerülne lézerműködést elérni a cink rendszerben gerjeszthető 210 nm-es potenciális lézerátmeneten, akkor az az eddig ismert legrövidebb hullámhosszú folytonos lézert jelentené.

Célkitűzéseim a következő pontokba foglalhatók össze:

- a. meghatározni a porlasztott, szegmentált üreges katódú arany ion lézer jellemzőit:
 - parametrikus mérésekkel optimalizálni a lézer működését, megvizsgálni a keletkező lézernyaláb tulajdonságait,
 - számítógépes szimuláció segítségével mélyebb betekintést nyerni a szegmentált üreges katódú kisülést meghatározó folyamatokba,
- b. meghatározni egy olyan újszerű, belsőanódos üreges katódú cink ion lézer jellemzőit, amelybe a fémgőzt fűtés útján juttatjuk.

3. Vizsgálati módszerek

Szegmentált üreges katódú arany ion lézer

Az arany ion lézer 690 nm-es átmenetének vizsgálata alkalmat nyújtott a lézer módusszerkezetének megállapítására. A lézer gerjesztésére használt kisülési cső hat darab, egyenként 5.6 cm hosszú és 3.1 mm belső átmérőjű szegmentált üreges katódú modulból állt. A rézből készült katódok aktív (belső) felületét $\sim 30\ \mu\text{m}$ vastag aranyréteg borította.

A kimenő teljesítményt kalibrált Hamamatsu PIN diódával mértem, a lézer transzverzális módusait CCD kamerával lehetett azonosítani. A longitudinális módusszerkezet megál-

lapítására Tec-Optics SA2 pásztázó Fabry-Perot interferométert használtam, amelynek diszperzióját ismert hullámhosszú He-Ne lézer segítségével kalibráltam. A kisülés spektrumát fotoelektron-sokszorozóval felszerelt, 2 m fókusztávolságú Zeiss PGS-2 monokromátorral vizsgáltam.

A hélium töltőgázhoz kis mennyiségben argont kevertem, ami megnövelte a porlasztás hatásfokát. Az elektródák túlhevülésének elkerülésére a lézert ~ 1 ms hosszú impulzusokkal gerjesztettem, amelyek 1 Hz frekvenciával követték egymást. Az impulzusokat a Fabry-Perot interferométer vezérlő frekvenciájához szinkronizáltam.

A szegmentált üreges katódú kisülés számítógépes modellje

A szimulációs program öt egységből tevődött össze. Az első két egység a gyors elektronok Monte-Carlo szimulációját és a porlott fém termalizációjának számolását tartalmazta. Az itt kapott ionok, metastabil részecskék és fém atomok forrásfüggvényei bemenő adatként szerepeltek a negatív fényt modellező harmadik egységben, ahol a kisülésben szerepet játszó részecskék mérlegegyenleteit oldottam meg. A katód sötétterben található ionok és gyors atomok Monte-Carlo szimulációjának segítségével a negyedik egység megadta a katód közelében található töltéssűrűséget, amiből a Poisson egyenlet segítségével már ki lehetett számolni a elektromos tér eloszlását. Az utolsó, ötödik egység a töltőgáz hőmérsékletének térbeli eloszlását számolta ki. A modell egyes részeit iteratív módon számoltam mindaddig, amíg a kisülés jellemzői el nem érték a beállított paraméterekhez tartozó állandósult állapotot.

Fűtött belsőanódos cink ion lézer

A lézercső vázát egy rozsdamentes acélcső alkotta, amelyre kintről épült rá a kályha. Az aktív térfogatot hat

darab, egyenként 6 cm hosszú belsőanódos kisülés képezte. A cinket a cső közepén található oldalkályhából lehetett elpárologatni. A cső két végén pozitív oszlopú segédki-sülések helyezkedtek el, amelyek a cinkgőz kataforetikus bentartását szolgálták az aktív térfogatban. Ezek a kisülések a héliumhoz képest könnyebben ionizálható cink atomokat a katód irányába terelték (kataforézis). A lézer tervezése előtt a kataforézis jelenségét egy külön erre a célra épített egyszerűbb kisülési cső segítségével is megvizsgáltam.

4. Új tudományos eredmények

1. Meghatároztam a 690 nm-es porlasztott, szegmentált üreges katódú arany ion lézer módusszerkezetét.

A lézernyaláb keresztmetszeti intenzitáseloszlását CCD kamerával vizsgáltam. Megállapítottam, hogy a kísérletekben használt feltételek mellett (a rezonátor hossza 1.4 m, a tükrök görbületi sugara 3 m, a lézercső belső átmérője 3.1 mm) a lézer kizárólag a TEM₀₀ transzverzális módusban működik. A longitudinális módusok meghatározására pásztázó Fabry-Perot interferométert használtam. Megállapítottam, hogy a 10-20 mbar nyomástartományban domináns az egymódusú működés, ami a lézerátmenet jelentős homogén kiszélesedésére enged következtetni [f1].

2. A töltőgáz hőmérsékletének és nyomásának változásait leíró modellel megmagyaráztam a 690 nm-es szegmentált üreges katódú arany ion lézer teljesítményének jellegzetes időfüggését a gerjesztő impulzusok alatt.

Az 1 ms hosszú lézerimpulzusok alatt a magasabb hőmérséklet következtében a töltőgáz az aktív térfogathoz kifelé áramlik. A nyomás változásának leírásával magyarázatot adtam a lézerteljesítmény időbeli változásaira [f1].

3. Parametrikus mérésekkel optimalizáltam a 282 nm-es porlasztott, szegmentált üreges katódú arany ion lézer működését.

Megmértem a 282 nm-es arany ion lézer kimenő teljesítményét és kiszelű erősítését a nyomás, az áram és a hélium töltőgázhoz adott argon adalék koncentrációjának függvényében. A lézer teljesítménye és erősítése magasabb nyomások felé haladva a 10-20 mbar tartományban folytonosan növekszik. Megállapítottam, hogy a maximális kiszelű erősítéshez (esetemben $52\% \text{ m}^{-1}$), valamint maximális lézerteljesítményhez (100 mW) különböző argon-koncentráció tartozik, amelyek értéke 0.75 illetve 0.25% [f3].

4. Elkészítettem a szegmentált üreges katódú kisülés számítógépes modelljét, amelynek eredményei információval szolgáltak a kisülés számos, kísérletileg nehezen mérhető tulajdonságáról. A modell alapján következtetni lehetett a szegmentált üreges katódú kisülésben gerjesztett arany ion lézer működésére.

A szegmentált üreges katódú kisülés modellje öt egységből áll: gyors elektronok Monte-Carlo szimulációja, porlott fém termalizációja, a negatív fény modellje, a katód sötétteré modellje és a gázhőmérséklet eloszlásának számolása. A modell visszaadja a kisülés szerkezeti felépítését, meghatározza a kisülésben található ionok és fém atomok eloszlását, valamint a katódra érkező gyors nehéz részecskék energiaeeloszlását. A szimuláció során megmutattam, hogy nagyáramú ködfénykísülések modelljeiben a lassú elektronok hőmérséklete illesztési paraméterként használható, amely beállításával reprodukálni lehet a kísérleti áram-feszültség karakterisztikákat [f3].

5. Kísérletileg meghatároztam a cink kataforézisének jellemzőit pozitív oszlopú hélium és neon kisülésekben. Megadtam a kapott eredmények elméleti magyarázatát.

Fémgőzt is tartalmazó, pozitív oszlopú nemesgáz kísülésekben a töltőgázhoz képest könnyebben ionizálható fém

atomokat a kisülés a katódok irányába tereli (kataforézis). Kísérletileg meghatároztam a pozitív oszlopú hélium és neon kisülésekbe (a katód felőli oldalon) párologtatott cink atomok sűrűségének változását a kisülések tengelye mentén. Megmutattam, hogy a fémkoncentráció az anód felé haladva a távolság függvényében először lineárisan majd exponenciálisan csökken. Gaur és Chanin hélium-neon keverékekre érvényes elméletét saját kísérleti körülményeimhez igazítottam, így sikerült megadnom a jelenség magyarázatát [f2].

6. Újszerű, belsőanódos, fűtött cink ion lézert terveztem. Megmértem a lézer kisjelű erősítését és kimenő teljesítményét a hélium töltőgáz nyomásának, a fémgőz koncentrációjának és a kisülés áramának függvényében.

A nagyfeszültségű, belsőanódos fűtött cink ion lézeren végzett kísérletekkel igazoltam, hogy üreges katódú fémion lézerek esetében létezik optimális áramerősség és optimális fémgőz koncentráció, amelyeknél a lézer kisjelű erősítése és teljesítménye maximális. A 492.4 nm-es átmeneten elért legnagyobb kisjelű erősítés $\sim 50 \text{ \%m}^{-1}$ volt. A potenciális 210 nm-es lézerátmeneten nem sikerült erősítést kimutatni. Feltetelezésem szerint a lézerparaméterek tovább javíthatók az üreges katódok belső átmérőjének csökkentésével.

5. A dolgozathoz kapcsolódó publikációk jegyzéke

Folyóiratok:

[f1] G. Bánó, L. Szalai, K. Kutasi, P. Hartmann, Z. Donkó, K. Rózsa, Á. Kiss, T. M. Adamowicz: Operation characteristics of the Au-II 690-nm laser transition in a segmented hollow-cathode discharge, *Applied Physics B: Lasers and Optics* **70**, 521-525 (2000)

[f2] G. Bánó, P. Horváth, K. Rózsa: Cathaphoretic confinement of Zinc evaporated into helium and neon discharges, *Journal of Physics D: Applied Physics* **33**, 2611-2617 (2000)

[f3] G. Bánó, L. Szalai, K. Kutasi, Z. Donkó, K. Rózsa, T. M. Adamowicz: Au-II 282 nm segmented hollow cathode laser - parametric studies and self-consistent modeling, közlésre elfogadva: *Journal of Applied Physics*

Konferenciák:

[k1] L. Szalai, T. M. Adamowicz, A. Tokarz, G. Bánó, K. Kutasi, Z. Donkó, and K. Rózsa: Optimum Operating Conditions of a Hollow - Cathode Au-II Laser, Optika'98 : 5th Congress on Modern Optics, Budapest, Hungary, 14-17 September 1998 *Proc. of SPIE* **3573**, 28-31 (1998)

[k2] L. Szalai, T. M. Adamowicz, A. M. Tokarz, G. Bánó, K. Kutasi, Z. Donkó and K. Rózsa: Operation characteristics of a segmented hollow-cathode Au ion laser, 11th Symposium on elementary processes and chemical reactions in low temperature plasma, Low Tatras, Slovakia, 22-26 June 1998, Book of contributed papers, p. 157.

[k3] L. Szalai, G. Bánó, K. Kutasi, Z. Donkó and K. Rózsa: Optimization of hollow cathode discharges for pumping metal ion lasers, Tenth International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, Varna, Bulgaria, 21-25 September 1998, *Proc. of SPIE* **3571**, 140-144 (1999)

- [k4] M. Jánossy, G. Bánó, Z. Donkó, K. Rózsa, L. Szalai: Charge transfer excitation cross-sections in the He-Au⁺ laser, XV. ESCAMPIG, Lillafüred, Hungary, Aug. 26-30, 2000. *Europhysics Conference Abstracts* **24F**, p. 86
- [k5] G. Bánó, L. Szalai, K. Kutasi, P. Horváth, P. Hartmann, Z. Donkó, K. Rózsa: High-voltage hollow-cathode metal ion lasers for the UV, Week of Doctoral Studies °00, Prague, June 13 to 16, 2000, Proceedings of contribution papers, ed. J. Safránková, p. 290